

平和創造の森公園
ガンマ基礎調査業務委託（H29）

報 告 書

平成 30 年 3 月



出典：国土地理院

調査位置案内図

平和創造の森公園ガマ基礎調査業務委託（H29）

報告書

－ 目 次 －

1.	業務概要	1
1.1.	業務名	1
1.2.	業務目的	1
1.3.	業務対象地	1
1.4.	契約日	1
1.5.	履行期間	1
1.6.	本業務の実施体制	2
1.7.	業務項目及び数量	3
1.8.	業務フロー	4
2.	業務実施内容及び方法	5
2.1.	計画準備	5
2.1.1.	測量調査	6
2.1.2.	内部調査点検	7
3.	測量調査結果	8
3.1.	調査準備と実施	8
3.1.1.	使用機器	8
3.1.2.	3次元レーザースキャナ測量調査の流れ	10
3.2.	調査結果	13
4.	内部調査点検	18
4.1.	調査方針	18
4.2.	調査結果	19
4.2.1.	危険箇所抽出調査	20
4.2.2.	転石調査	22
4.3.	地表踏査	24
5.	浅所陥没に関する検討	25
5.1.	検討手法	25
5.2.	検討結果	33
6.	今後の方針について	37

1. 業務概要

1.1. 業務名

平和創造の森公園ガンマ基礎調査業務委託（H29）

1.2. 業務目的

本業務は、マヤーガンマ（壕）内部の調査により危険個所の抽出を行うとともに、壕内部の状況について考察し、今後の対策について計画策定を行うものである。

1.3. 業務対象地

沖縄県糸満市山城 平和創造の森公園内

1.4. 契約日

平成30年1月4日

1.5. 履行期間

自) 平成30年1月4日

至) 平成30年3月30日

1.6. 本業務の実施体制

本業務の実施体制を表 1-1 に示す。

表 1-1 本業務の実施体制表

役 割		担 当	
統括責任者		業務全般の計画・ 総括及び管理	
担当者		現地調査・ データ整理・報告書作成	
照査技術者		照査	

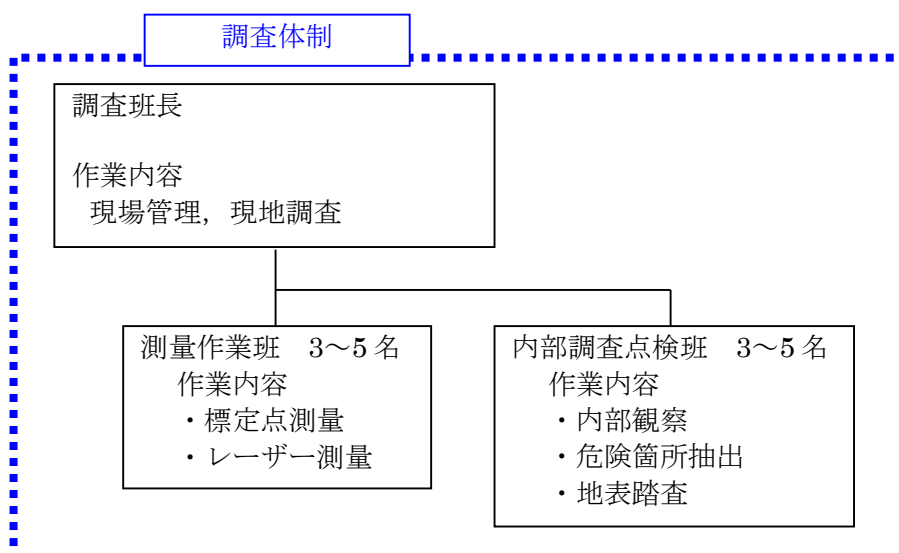


図 1-1 現場作業・現地観測における班構成

1.7. 業務項目及び数量

本業務の項目及び数量を表 1-2 に示す。

表 1-2 本業務の項目及び実施数量

	項目	数量	単位	備考
測 量 調 査	計画準備	1	式	
	評定点測量	6	点	
	レーザー測量	1	式	
	データ合成・解析	1	式	
	図面作成	1	式	測量成果図、縦横断面図、平面図等
内 部 調 査 点 検	計画準備	1	式	
	内部観察・危険箇所抽出・解析・工法の検討	1	式	
	今後のガマの保安全管理方法についての提言	1	式	
	報告書作成	1	式	3部
	打合せ	2	回	

1.8. 業務フロー

本業務の実施フローを図 1-2 に示す。

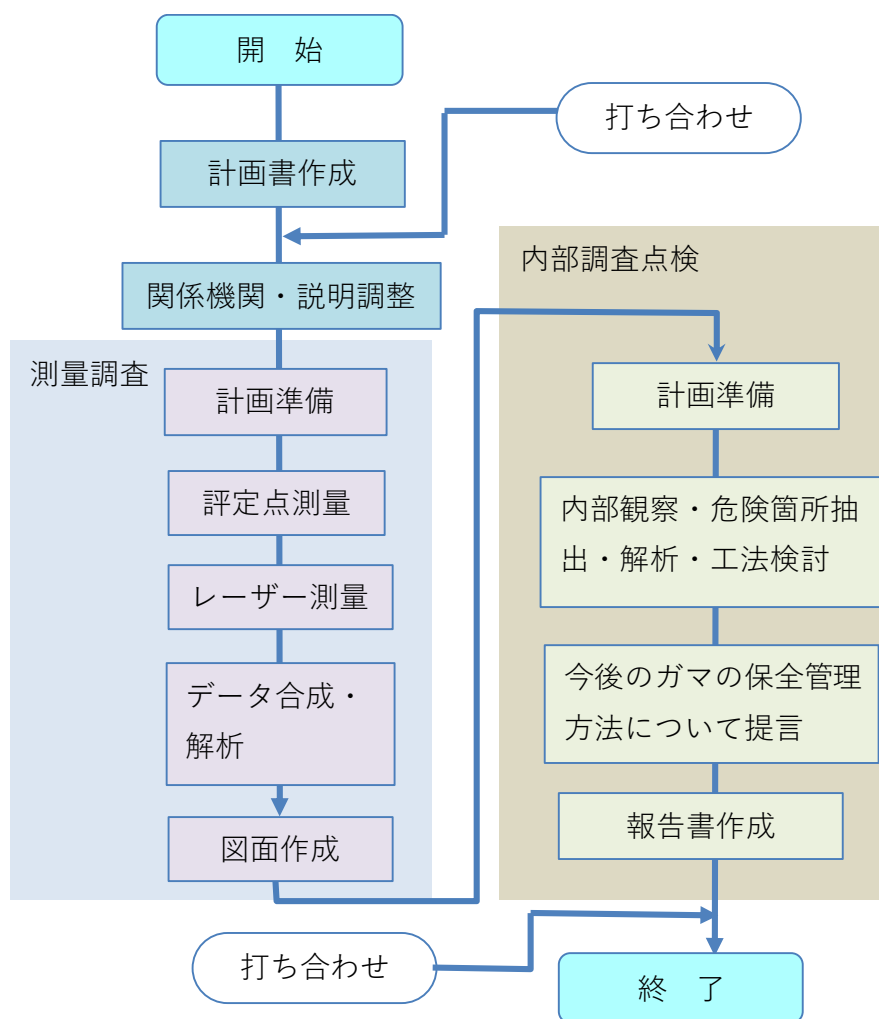


図 1-2 業務フロー

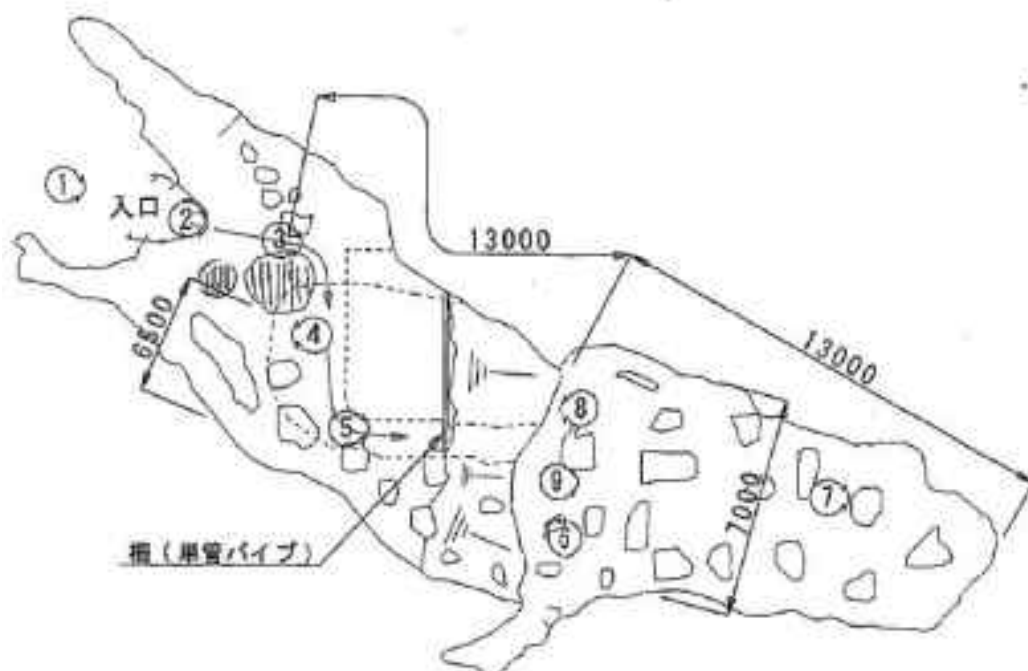
2. 業務実施内容及び方法

2.1. 計画準備

【本業務における実施計画】

業務の実施にあたり、業務の目的、内容を十分把握し、業務計画の立案・計画準備を行う。これを踏まえ、業務計画書を作成する。また、業務遂行にあたり必要となる準備調整・提出書類などは遅延無く処理する。

簡易配置図



2.1.1. 測量調査

【仕様書記載事項】

マヤーガンにおける洞窟内形状の把握、土被り厚の把握、内部調査点検に必要な基礎図面の作成を目的に以下を実施する。

【本業務における実施計画】

本業務では以下に示す 3 次元レーザースキャナを使用し洞窟内の形状を把握することを想定している。なお、評定点測量は通常の測量機を用いての水準測量を実施する。

得られた測量データ（点群データ）は 3D 点群処理ソフトを使用し視覚的にわかりやすく取り纏め、縦横断図等図面を素早く取り扱うことができるよう工夫する。



図 2-1 三次元レーザースキャナの例

2.1.2. 内部調査点検

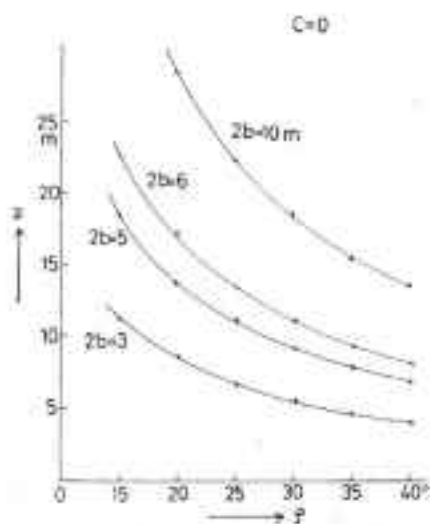
【仕様書記載事項】

マヤーGammaにおける洞窟内部の危険箇所の抽出・解析を行うとともに、壕内部の状況について考察し、対策工法を検討し今後の対策について計画策定を行うことを目的に以下を実施する。

【本業務における実施計画】

内部調査点検結果は、測量調査によって作成した図面を使用し分かり易く取り纏めるものとする。また、既往文献により浅所陥没の発生限界が検討されている（下図）が、それら既往の知見との比較により、壕陥没の危険性を考察する。

今後の対策に対する計画策定・保全管理方法への提言については、壕の一般公開を目標とし、ロードマップ形式で取り纏める。



第11図 粘着力がない場合の内部ま
さつ角と崩落限界深さとの関係

図 2-2 浅所陥没の発生限界と土被り (Z)、空洞幅 (2b)、C、 ϕ の関係

(出典：浅所陥没の発生機構に関する研究 (第1報) 西田ほか, 1972)

上図は土被り厚 (Z) と空洞幅 (2b) の関係を示したもので、マヤーGammaを構成する岩盤上の琉球石灰岩の場合、岩盤強度は文献資料などから概ね $C=0$ 、 $\phi=35\sim45^\circ$ 程度と考えられるが、この場合、空洞幅 (2b) が 10 であると、土被り 15m 以下だと浅所陥没の危険性があると判断される。

3. 測量調査結果

3.1. 調査準備と実施

3.1.1. 使用機器

マヤーガマにおける洞窟内形状の把握、土被り厚の把握、内部調査点検に必要な基礎図面の作成を目的とし、洞窟内において3次元レーザースキャナ測量を実施した。本業務では図 3-1 に示す3次元レーザースキャナ Leica ScanStation C5 (Leica 社製) を使用した。Leica ScanStation C5 は、高速かつ高精度にスキャンすることが可能なおうえ、ユーザーインターフェースが直観的で操作が容易に行える特徴がある。なお、評定点測量は通常の測量機を用いての水準測量を実施した。



図 3-1 Leica ScanStation C5 外観

表 3-1 Leica ScanStation C5 概要

性能 (単発測定精度)	
座標	6mm
距離	4mm
角度 (水平/鉛直)	60 μ rad/60 μ rad
レーザースキャンシステム	
レーザータイプ	パルス方式半導体レーザー
レーザー波長	532nm 可視光 (緑)
測定範囲	
水平	最大 360°
鉛直	最大 270°

得られた測量データ（点群データ）は 3D 点群処理ソフト TREND-POINT および TREND-ONE を用いて分かり易く取り纏め、縦横断図等図面を素早く取り扱うことができるよう工夫した。

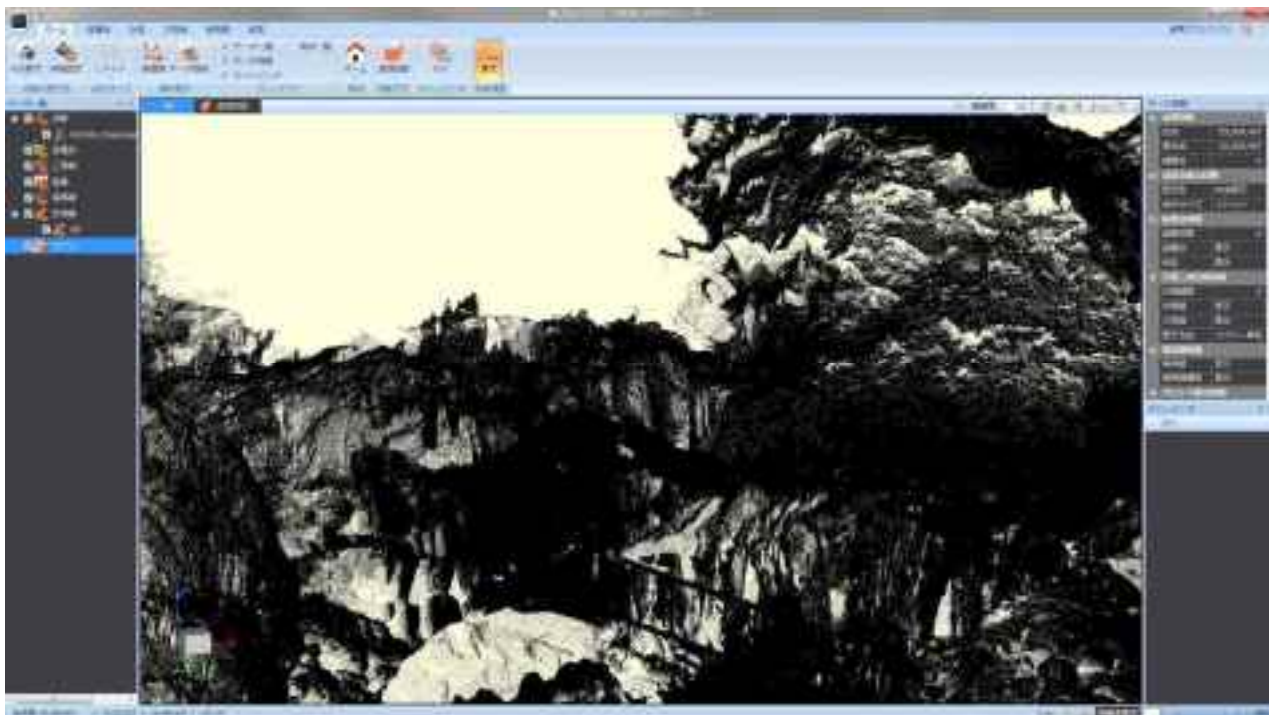


図 3-2 TREND-POINT 操作画面

3.1.2. 3次元レーザースキャナ測量調査の流れ

以下に3次元レーザースキャナ測量調査の流れを示す。

(1) 機器の設置

3次元レーザースキャナは機械を設置した周囲（概ね360°）の地形状況や構造物状況をスキャンする。地形が平坦でレーザを遮る構造物等が無い場合、少ない数での測量で問題はないが、本業務では複雑に入り組む鍾乳洞内をスキャンするため、機械の設置位置をずらしながら複数回の測量を実施した。複数回の測量を実施するにあたり、後に測量結果を繋ぎ合わせ一つの図面とする作業が生じる。このため、複数回の測量は、測量範囲を多少ラップさせ、ラップさせる範囲に「ターゲット」（図3-3）と呼ばれる座標確認ポイントを設け、繋ぎ合わせる作業の位置確認地点とした。



図 3-3 ターゲット（左：大型のターゲット、右：コンパクトなターゲット）

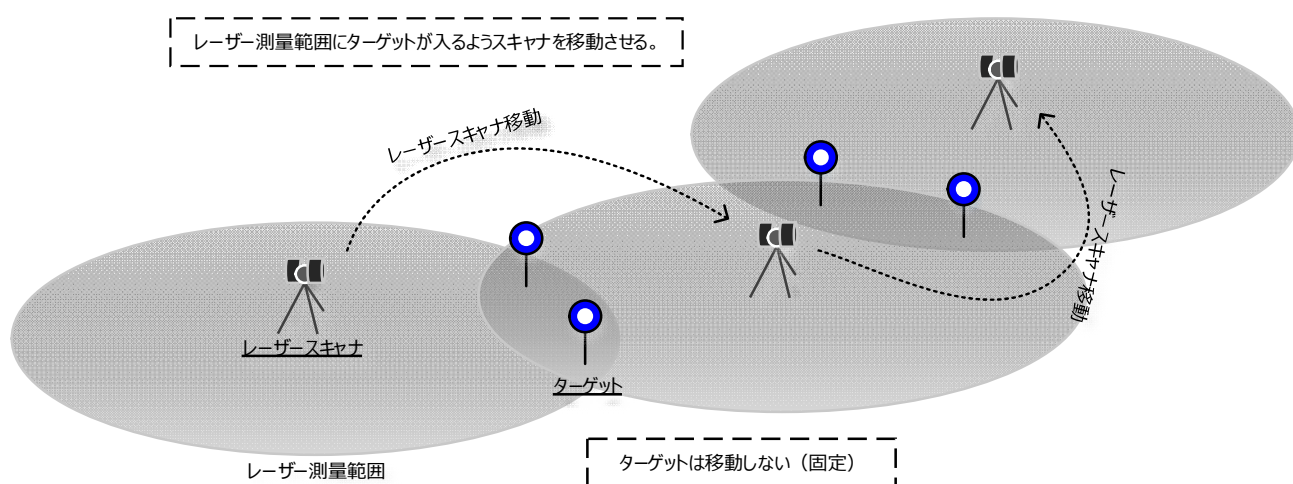


図 3-4 機器（レーザースキャナおよびターゲット）設置模式図

(2) 測量の実施

測量地点に据え付けられた 3 次元レーザースキャナはオートでレーザー測量を開始する。スキャン時間はおよそ 10 分程度である。レーザー測量中、作業員はレーザーに照射されないよう機械の死角で待機した。鍾乳洞の内部は真っ暗なため、投光器を用いてターゲットの位置等を視認し易くした。



図 3-5 測量作業風景

(3) 精度管理（評定点測量、ターゲット測量）

3次元レーザースキャナ測量成果の精度管理の一環として評定点測量およびターゲット測量を実施した。評定点測量は、鍾乳洞の入口から設置した標定点（図 3-6）の測量を実施していき、評定点の位置情報を取得するものである。ターゲット測量は、評定点測量で設置された評定点を基準とし、ターゲットの位置情報を取得した。これら取得位置情報と3次元レーザースキャナ結果を照合させることにより精度の管理を実施した。



図 3-6 評定点測量およびターゲット測量風景

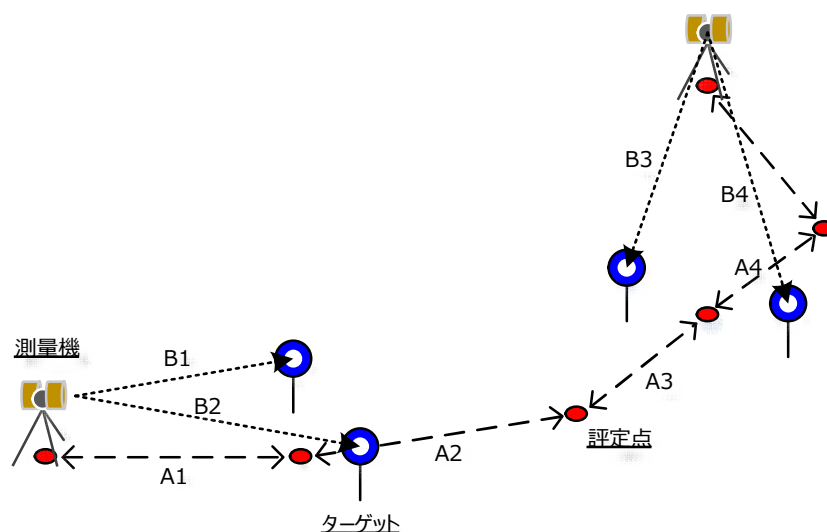


図 3-7 精度管理模式図

3.2. 調査結果

3次元レーザースキャナ測量の実施概要を表 3-2 に示す。3次元レーザースキャナ測量の実施に向け、現場下見調査（照明の確認、評定点の設置、レーザースキャナ据え付け位置のおよその把握）を実施した。また、3次元レーザースキャナ測量を実施した際、併せて地表部の平板測量も実施した。次項以降に3次元レーザースキャナ測量結果を基に描画した図を示す。

表 3-2 測量調査実施概要

項目	実施日	備考
現場下見調査	1/16、1/23、2/8、2/15	評定点の設置、照明の確認など
3次元レーザースキャナ測量	2/16	
標定点測量	2/16	
地表部の平板測量	2/16	

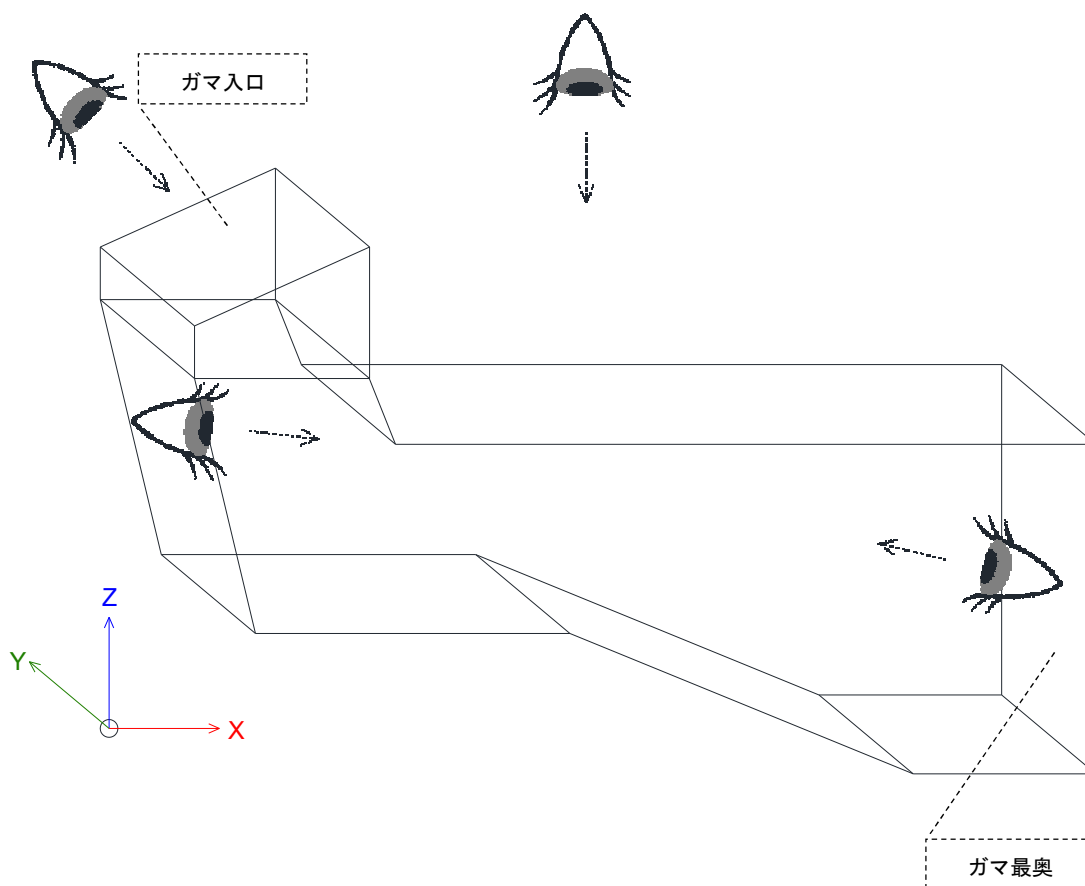
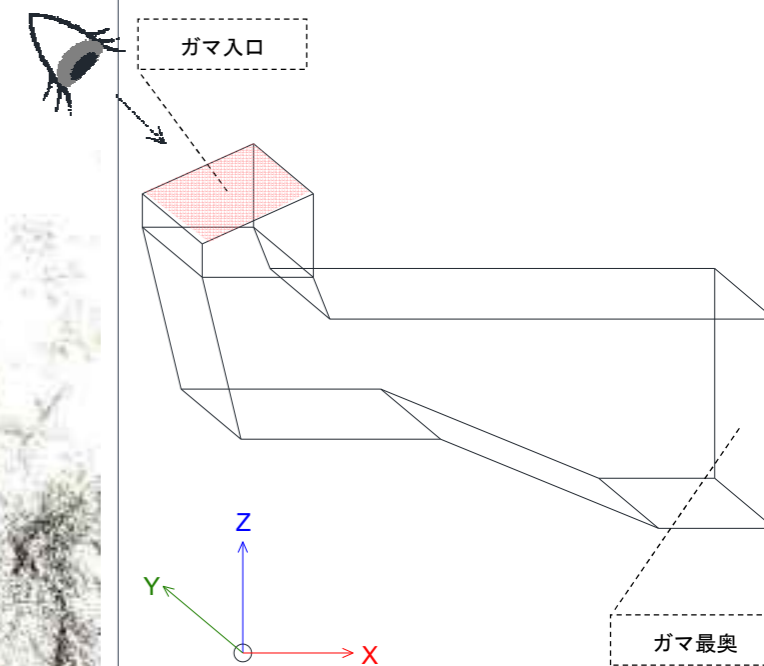


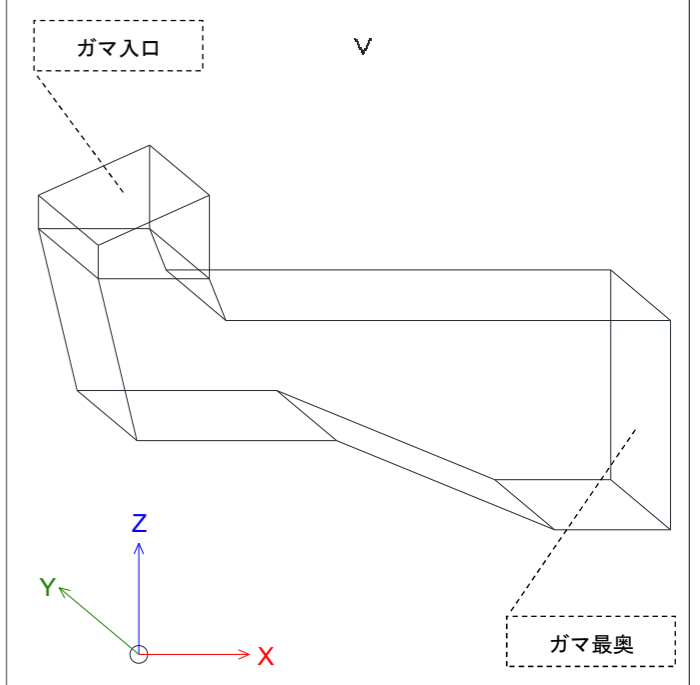
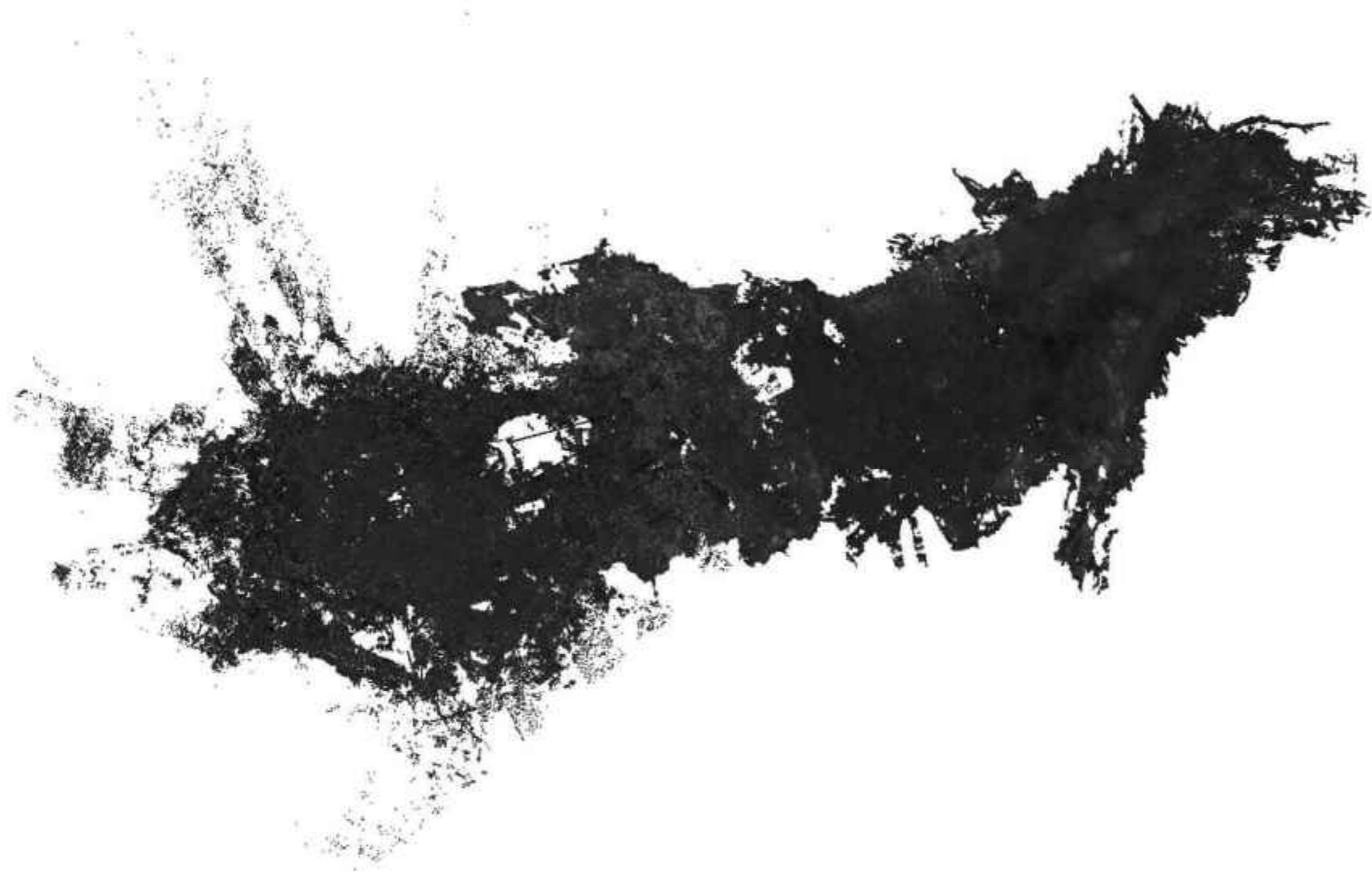
図 3-8 マヤーガンマ模式図



備考：光量が十分な場合、点群は色に応じた RGB 値を持たせることが出来るため写真のような仕上がりとなる。

マヤーガンマ立体図

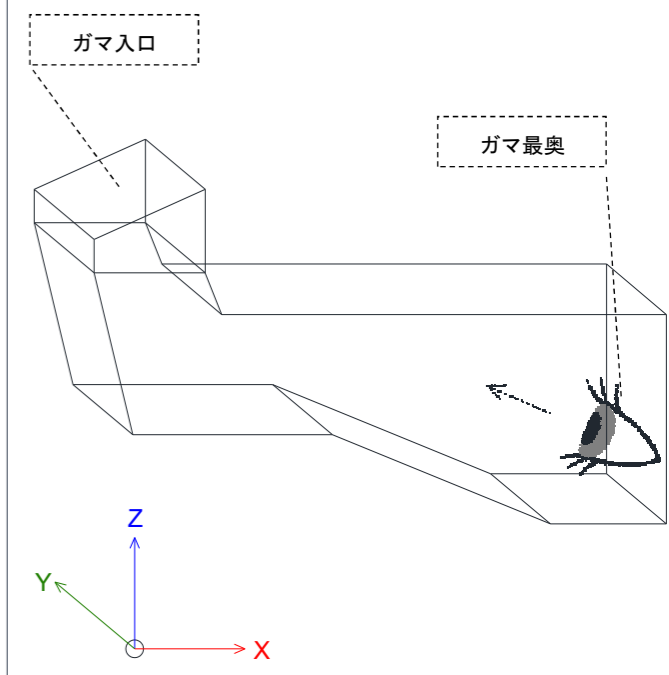
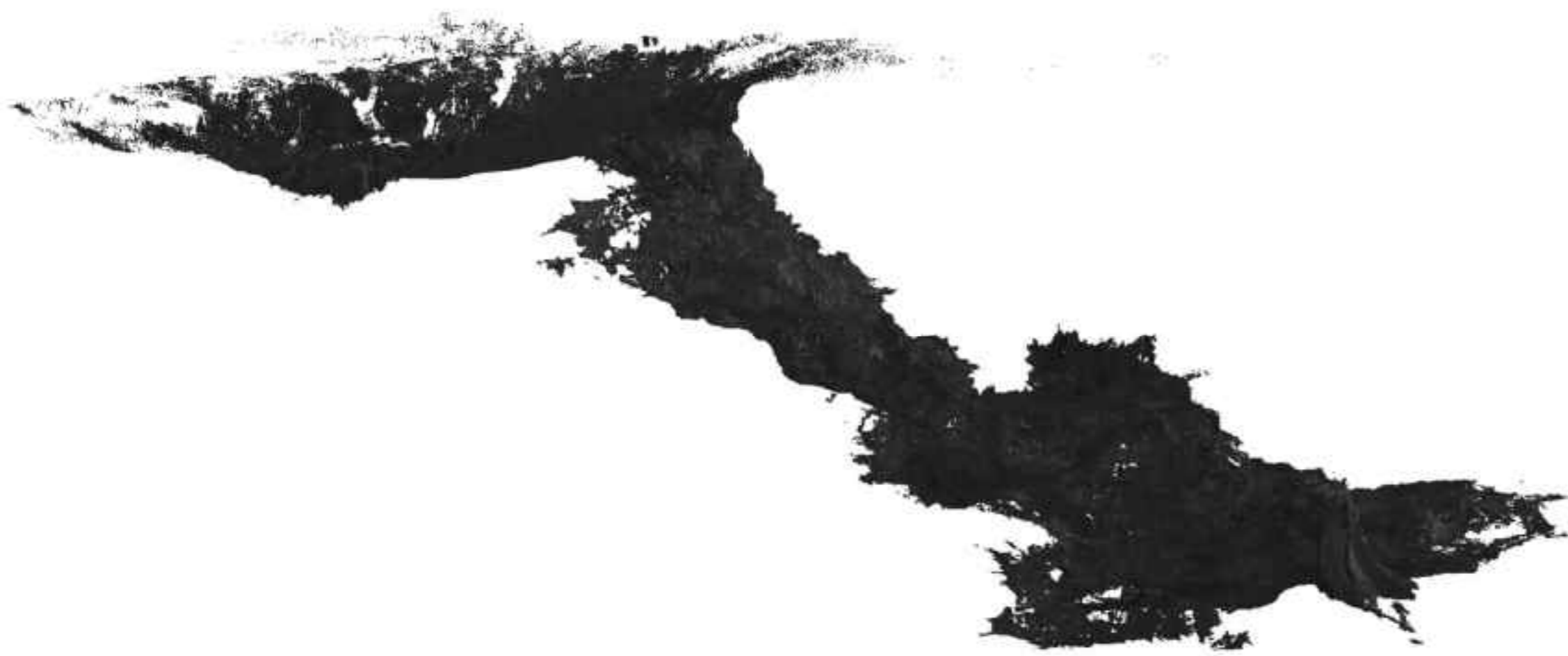
※ガンマの入口点群分布



備考: RGB で表現すると真っ黒に描画されるため受光強度で描画。

マヤーガンマ平面図

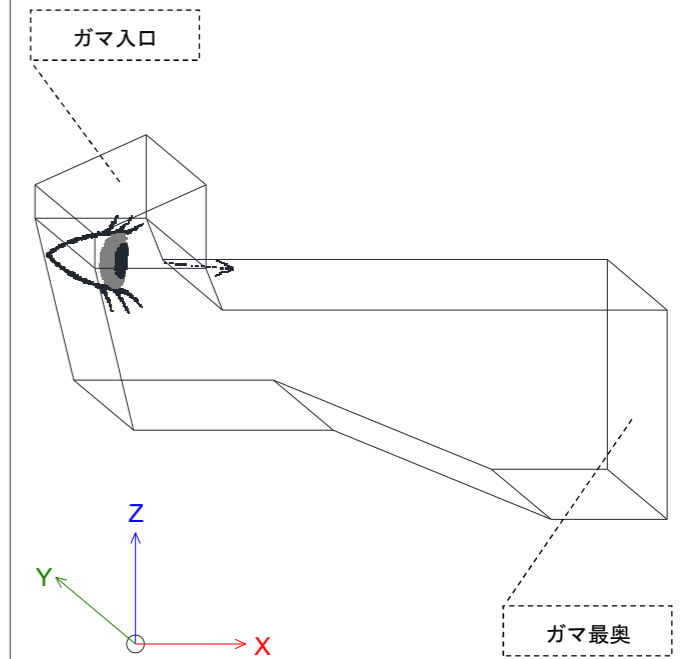
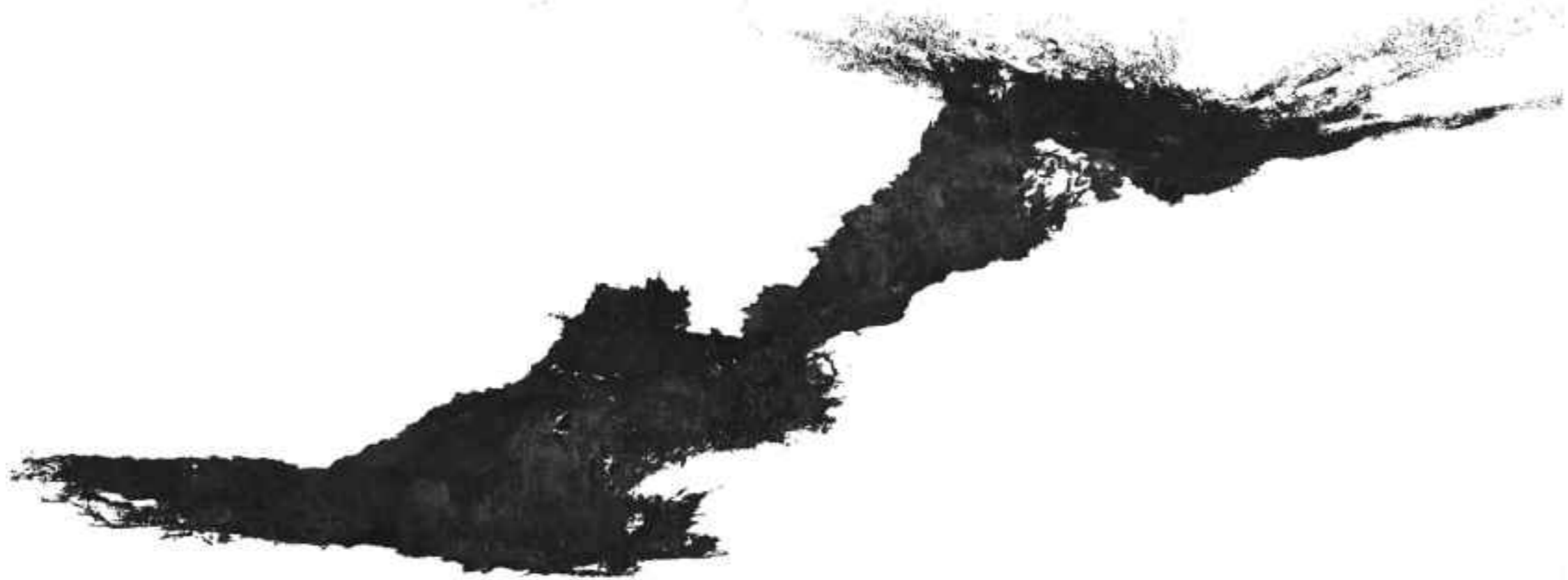
※点群分布を上空から見た図



備考：RGB で表現すると真っ黒に描画されるため受光強度で描画。

マヤーガン側面図

※点群分布を外から入口に向かって、右側から見た図



備考：RGB で表現すると真っ黒に描画されるため受光強度で描画。

マヤーガンマ側面図

※点群分布を外から入口に向かって、左側から見た図

4. 内部調査点検

4.1. 調査方針

内部調査点検は以下の 2 種類に分けられる。なお、今回点検するにあたって参照した点検基準等はなく、マヤーGamma内の状況に併せて判定基準を作成した。

① 危険箇所抽出調査

主に鍾乳洞の側面および天井部を対象とし、落石の危険性がある浮石の抽出や亀裂の有無を確認し、危険度の判定を実施する。危険度の判定には目視での調査だけでなく、岩石ハンマーを用いた検打によっても実施した。

② 転石調査

主に鍾乳洞内の地面に落ちている岩盤や岩塊の位置やサイズを確認する。

各調査の際は、鍾乳洞内での危険箇所および転石の位置情報を記録するためレーザー測量も併せて実施した。これは、x 座標・y 座標・z 座標を記録することにより将来の位置確認を容易に行えるよう工夫したものである。

調査範囲は図 4-1 に黒色で示す部分（Gamma内部全域）とした。また、補足的にGamma地表部についても地表踏査を実施し周辺状況を把握した。

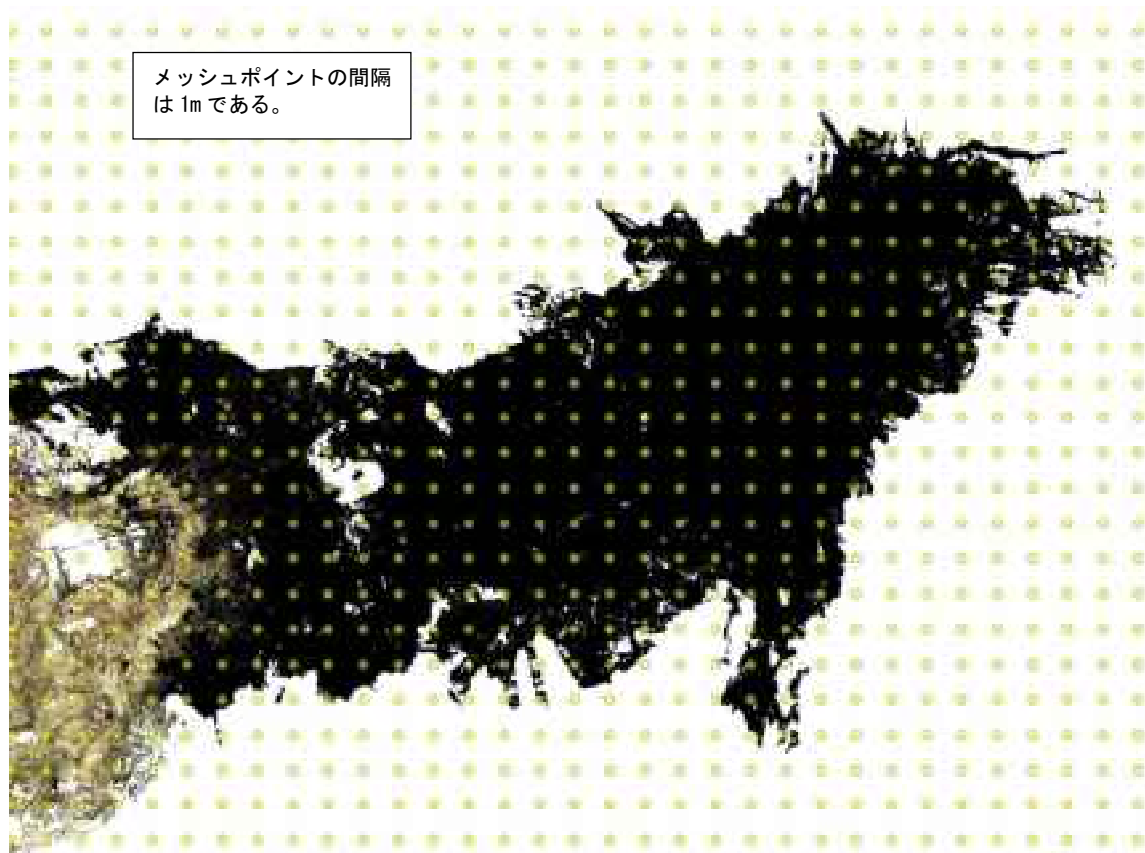


図 4-1 内部調査点検対象範囲（図の黒色部分）

4.2. 調査結果

内部調査点検下表に示す通り実施した。各調査の結果について次項以降に示す。

表 4-1 内部調査点検実施概要

項目	実施日	備考
危険箇所抽出調査	3/9	
転石調査	3/9	
(地表踏査)	3/9	

4.2.1. 危険箇所抽出調査

今回の調査で危険箇所として抽出された箇所は計 25 箇所あった。これら抽出された危険箇所は表 4-2 に示す安定状態評価基準に従い AA～C までの 4 段階に分けて評価した。また、各地点に関しては、台帳形式で情報を取り纏めた（危険箇所台帳は巻末に付す）。

表 4-3 に危険箇所抽出結果一覧を、図 4-2 に危険箇所抽出位置平面図を示す。

表 4-2 安定状態評価基準

クラス	安定性	評価記事
AA	著しく不安定	<ul style="list-style-type: none"> ・近い将来落下する可能性大 ・岩塊が母岩体と亀裂で分離 ・ハンマー打撃で動く
A	不安定	<ul style="list-style-type: none"> ・近い将来落下する可能性あり ・岩塊が母岩体と亀裂で分離 ・周囲の岩塊や木根に支持される
B	やや不安定	<ul style="list-style-type: none"> ・将来落下する可能性あり ・亀裂はあるが母岩体と癒着している部分もある
C	ほぼ安定	<ul style="list-style-type: none"> ・将来落下する可能性は小さい ・周囲の岩塊と噛み合い安定

表 4-3 危険箇所抽出結果一覧

地点No.	安定状態				備考
	AA	A	B	C	
No.1			●		
No.2		●			
No.3		●			
No.4			●		
No.5		●			
No.6		●			
No.7			●		
No.8					亀裂系のため記載のみ
No.9	●				
No.10			●		
No.11	●				
No.12	●				
No.13	●				
No.14		●			
No.15			●		
No.16				●	
No.17				●	
No.18			●		
No.19			●		
No.20			●		
No.21		●			
No.22			●		
No.23			●		
No.24			●		
No.25					亀裂系のため記載のみ
total	4	5	11	2	記載のみ：2

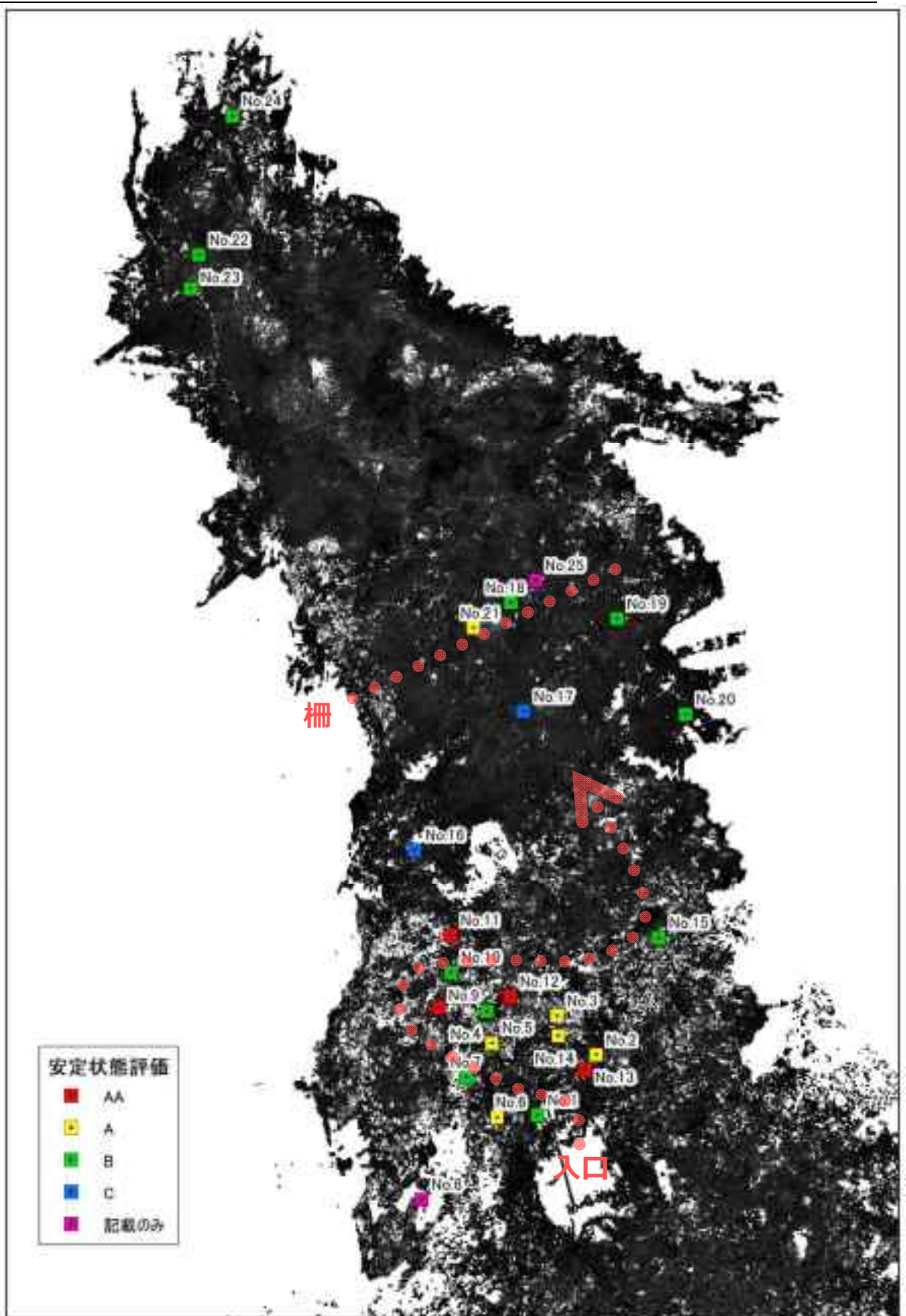


図 4-2 危険箇所抽出位置平面図

4.2.2. 転石調査

今回の調査で転石としてカウントされた岩塊・岩塊群は計 82 箇所あった。表 4-4 に転石調査結果一覧を、図 4-3 に転石位置平面図を示す。また、各転石に関しては、写真台帳形式で情報を取り纏めた（転石台帳は巻末に付す）。

表 4-4 転石調査結果一覧

転石No.	サイズ	座標			琉球石灰岩の密度を2.0g/m ³ とした場合の計算重量(kg)	転石No.	サイズ	座標			琉球石灰岩の密度を2.0g/m ³ とした場合の計算重量(kg)
R-1	1200mm×350mm×600mm	X=9537.322	Y=18446.706	Z=30.826	504	R-42	500mm×500mm×500mm	X=9520.1	Y=18452.474	Z=31.646	250.00
R-2	800mm×600mm×550mm	X=9538.271	Y=18447.289	Z=30.913	528	R-43	500mm×400mm×400mm	X=9519.586	Y=18452.766	Z=31.845	160.00
R-3	1400mm×900mm×1110mm	X=9538.715	Y=18448.126	Z=30.671	2797	R-44	700mm×400mm×400mm	X=9520.281	Y=18451.66	Z=31.491	224.00
R-4	800mm×350mm×400mm	X=9538.077	Y=18447.724	Z=30.375	224	R-45	700mm×400mm×500mm	X=9518.666	Y=18452.25	Z=31.952	280.00
R-5	2900mm×2800mm×900mm	X=9535.118	Y=18447.688	Z=30.03	14616	R-46	700mm×300mm×300mm	X=9518.312	Y=18451.781	Z=32.583	576.00
R-6	1100mm×400mm×550mm	X=9533.862	Y=18447.828	Z=29.303	484	R-47	700mm×600mm×1200mm	X=9518.002	Y=18452.009	Z=33.305	1008.00
R-7	2000mm×1800mm×1500mm	X=9532.928	Y=18447.532	Z=30.091	10800	R-48	3000mm×1700mm×3100mm	X=9519.194	Y=18453.283	Z=33.02	31620.00
R-8	1100mm×500mm×600mm	X=9532.112	Y=18448.38	Z=29.3	660	R-49	1500mm×1000mm×1000mm	X=9523.764	Y=18456.276	Z=32.849	3000.00
R-9	700mm×400mm×600mm	X=9533.26	Y=18448.301	Z=29.002	56	R-50	500mm×400mm×300mm	X=9522.646	Y=18457.765	Z=32.584	120.00
R-10	700mm×300mm×400mm	X=9534.661	Y=18448.439	Z=29.349	168	R-51	500mm×300mm×300mm	X=9522.087	Y=18457.697	Z=32.518	90.00
R-11	600mm×400mm×300mm	X=9534.915	Y=18448.681	Z=29.355	158	R-52	700mm×500mm×500mm	X=9522.805	Y=18459.075	Z=33.026	350.00
R-12	600mm×250mm×400mm	X=9533.947	Y=18448.63	Z=29.13	120	R-53	400mm×300mm×200mm	X=9522.179	Y=18458.778	Z=32.997	48.00
R-13	900mm×400mm×200mm	X=9533.561	Y=18449.622	Z=29.014	144	R-54	600mm×200mm×200mm	X=9521.777	Y=18458.333	Z=32.608	48.00
R-14	800mm×1000mm×200mm	X=9534.19	Y=18449.429	Z=29.056	320	R-55	800mm×700mm×800mm	X=9519.766	Y=18457.096	Z=33.628	896.00
R-15	300mm×300mm×200mm	X=9535.227	Y=18449.495	Z=29.091	36	R-56	700mm×300mm×500mm	X=9519.602	Y=18456.531	Z=33.569	210.00
R-16	300mm×200mm×200mm	X=9533.186	Y=18452.092	Z=28.999	24	R-57	700mm×600mm×600mm	X=9519.585	Y=18455.619	Z=33.244	504.00
R-17	400mm×200mm×300mm	X=9532.716	Y=18453.067	Z=29.158	48	R-58	600mm×300mm×450mm	X=9519.175	Y=18457.142	Z=33.868	162.00
R-18	600mm×500mm×500mm	X=9530.904	Y=18456.481	Z=29.268	300	R-59	1000mm×500mm×700mm	X=9518.418	Y=18456.164	Z=34.064	700.00
R-19	900mm×600mm×600mm	X=9531.341	Y=18457.088	Z=29.464	648	R-60	1000mm×500mm×500mm	X=9520.147	Y=18459.059	Z=33.595	500.00
R-20	1600mm×800mm×700mm	X=9531.157	Y=18458.903	Z=29.376	1792	R-61	500mm×500mm×200mm	X=9519.226	Y=18458.501	Z=33.585	100.00
R-21	1300mm×1100mm×400mm	X=9529.709	Y=18451.443	Z=28.39	1144	R-62	600mm×400mm×400mm	X=9518.924	Y=18458.228	Z=33.776	192.00
R-22	700mm×500mm×400mm	X=9530.089	Y=18449.314	Z=28.645	280	R-63	600mm×500mm×600mm	X=9519.446	Y=18459.197	Z=34.081	360.00
R-23	700mm×300mm×400mm	X=9529.378	Y=18449.558	Z=28.586	168	R-64	600mm×500mm×300mm	X=9517.744	Y=18457.61	Z=34.546	180.00
R-24	700mm×600mm×900mm	X=9528.387	Y=18449.935	Z=28.115	336	R-65	500mm×400mm×300mm	X=9517.812	Y=18456.335	Z=34.928	120.00
R-25	1000mm×600mm×900mm	X=9527.497	Y=18451.221	Z=28.764	1080	R-66	800mm×500mm×500mm	X=9516.949	Y=18454.876	Z=35.3	400.00
R-26	700mm×400mm×800mm	X=9528.133	Y=18452.179	Z=28.554	448	R-67	800mm×600mm×400mm	X=9516.798	Y=18454.16	Z=35.732	384.00
R-27	1300mm×900mm×500mm	X=9526.313	Y=18451.979	Z=28.338	1170	R-68	2600mm×2000mm×1900mm	X=9515.218	Y=18456.109	Z=35.741	19760.00
R-28	1000mm×700mm×400mm	X=9525.168	Y=18451.467	Z=28.038	560	R-69	500mm×300mm×300mm	X=9515.819	Y=18452.109	Z=36.037	90.00
R-29	500mm×300mm×300mm	X=9525.684	Y=18450.411	Z=27.988	90	R-70	400mm×300mm×300mm	X=9514.268	Y=18452.47	Z=36.507	72.00
R-30	1000mm×400mm×800mm	X=9526.804	Y=18452.726	Z=28.316	640	R-71	300mm×300mm×200mm	X=9513.838	Y=18451.479	Z=36.657	36.00
R-31	700mm×400mm×400mm	X=9525.633	Y=18454.154	Z=27.878	224	R-72	600mm×400mm×500mm	X=9513.229	Y=18451.897	Z=36.986	240.00
R-32	600mm×500mm×400mm	X=9526.244	Y=18454.044	Z=27.883	240	R-73	700mm×400mm×300mm	X=9512.734	Y=18452.374	Z=36.974	168.00
R-33	1600mm×1200mm×700mm	X=9527.749	Y=18453.584	Z=28.307	2688	R-74	900mm×500mm×800mm	X=9511.744	Y=18452.29	Z=37.896	720.00
R-34	5800mm×3100mm×1960mm	X=9527.231	Y=18453.994	Z=29.532	70482	R-75	500mm×500mm×500mm	X=9513.355	Y=18455.647	Z=38.474	250.00
R-35	1400mm×1100mm×500mm	X=9528.443	Y=18456.171	Z=31.053	1540	R-76	1000mm×600mm×1000mm	X=9512.665	Y=18455.969	Z=39.565	1200.00
R-36	700mm×600mm×500mm	X=9524.47	Y=18453.433	Z=31.033	420	R-77	900mm×500mm×500mm	X=9513.612	Y=18456.159	Z=38.645	450.00
R-37	600mm×500mm×400mm	X=9523.754	Y=18451.662	Z=30.626	240	R-78	800mm×900mm×600mm	X=9512.33	Y=18457.004	Z=39.963	864.00
R-38	500mm×400mm×400mm	X=9524.38	Y=18451.928	Z=30.323	160	R-79	600mm×500mm×400mm	X=9512.156	Y=18456.287	Z=39.764	240.00
R-39	1100mm×1100mm×700mm	X=9523.652	Y=18455.094	Z=31.921	1694	R-80	700mm×600mm×500mm	X=9511.805	Y=18455.658	Z=40.231	420.00
R-40	500mm×600mm×400mm	X=9522.243	Y=18453.891	Z=31.714	240	R-81	800mm×700mm×900mm	X=9511.977	Y=18457.683	Z=41.199	1008.00
R-41	600mm×500mm×400mm	X=9521.605	Y=18451.995	Z=31.101	240	R-82	1400mm×500mm×900mm	X=9511.356	Y=18457.582	Z=41.019	1260.00

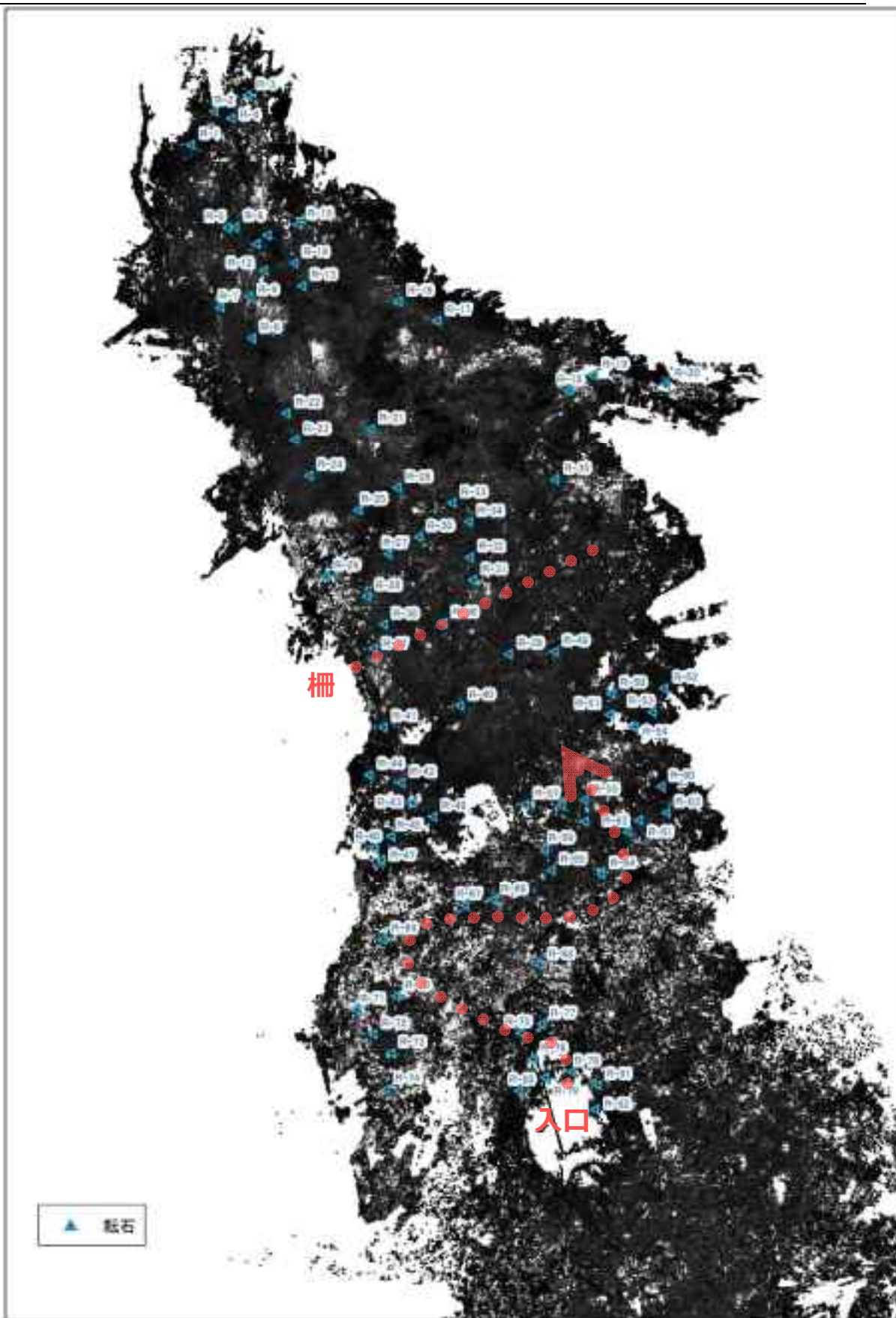


图 4-3 転石位置平面图

4.3. 地表踏査

ガマ直上の地上部周辺を対象とし特徴的な地形地質の有無を確認するため、踏査した。下図にて踏査結果の概略を示す。



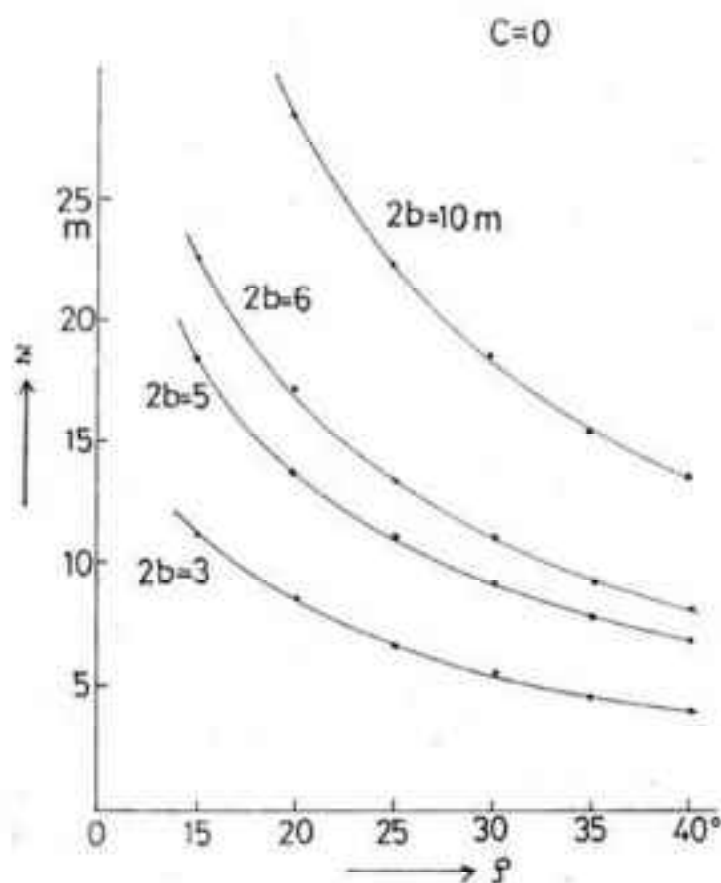
5. 浅所陥没に関する検討

5.1. 検討手法

本項では、既往文献により検討されている「浅所陥没の発生限界」の知見を活用し、マヤーガマにおける浅所陥没の危険性について解析をする。以下に、本検討で使用する「浅所陥没の発生限界と土被り (Z)、空洞幅 ($2b$)、 C 、 ϕ の関係」(西田ほか,1972)を示す。検討に必要な設定値としては以下が挙げられる。

- (1) 琉球石灰岩の粘着力 (C)、内部摩擦角 (ϕ)
- (2) マヤーガマの空洞幅 ($2b$)
- (3) マヤーガマの土被り厚 (Z)

これらの設定値は既往文献からの収集や 3 次元レーザースキャン測量結果から取得するものとする。



第11図 粘着力がない場合の内部ま
さつ角と崩落限界深さとの関係

図 5-1 西田ほか (1972) による浅所陥没の発生限界と
土被り (Z)、空洞幅 ($2b$)、 C 、 ϕ の関係

(1) 琉球石灰岩の粘着力 (C)、内部摩擦角 (ϕ)

琉球石灰岩の強度・変形特性など力学特性を直接的に求めた事例は少ない。今回収集した既往文献は表 5-1 に示した 2 つの文献だけだが、本検討の参考になるものと想定された。

内部摩擦角は値のばらつきが大きいものの、概ね 30-40° 程度のものが多く見られたことから、中間値として $\phi=35^\circ$ を設定値とした。

粘着力は値のばらつきが大きいだけでなくデータ数も少ない (N=3) ことから、本検討では安全側の評価となるよう粘着力は見込まない (C=0 kN/m²) ものとした。

表 5-1 既往文献から収集された C および ϕ

番号	文献名	内部摩擦角 (ϕ°)	粘着力 (kN/m ²)
①	琉球石灰岩を支持層とする港湾施設の設計手法の検討, 蟻川・佐々木 (2008?)	0~38.9	280~1270
②	琉球石灰岩を支持層とする港湾構造物の設計・施工技術について, 具志 (2012?)	24~74° (読み取り)	-

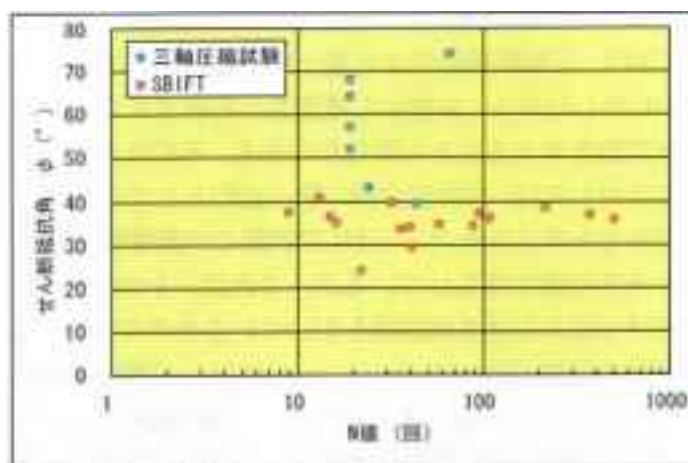


図 5-2 内部摩擦角 (せん断抵抗角) の分布 資料番号①より引用

(2) マヤーガマの空洞幅 (Z)

マヤーガマの空洞幅の取得や後述の土被り厚の取得では図 5-3 の通り、1m 間隔でメッシュを設定し、マヤーガマの主たる空洞空間を網羅する赤枠内の範囲を対象として実施する。

空洞幅の取得結果を図 5-4 に示す。今回の検討範囲において最大の空洞幅は 15.58m、最小の空洞幅は 6.82m となった。

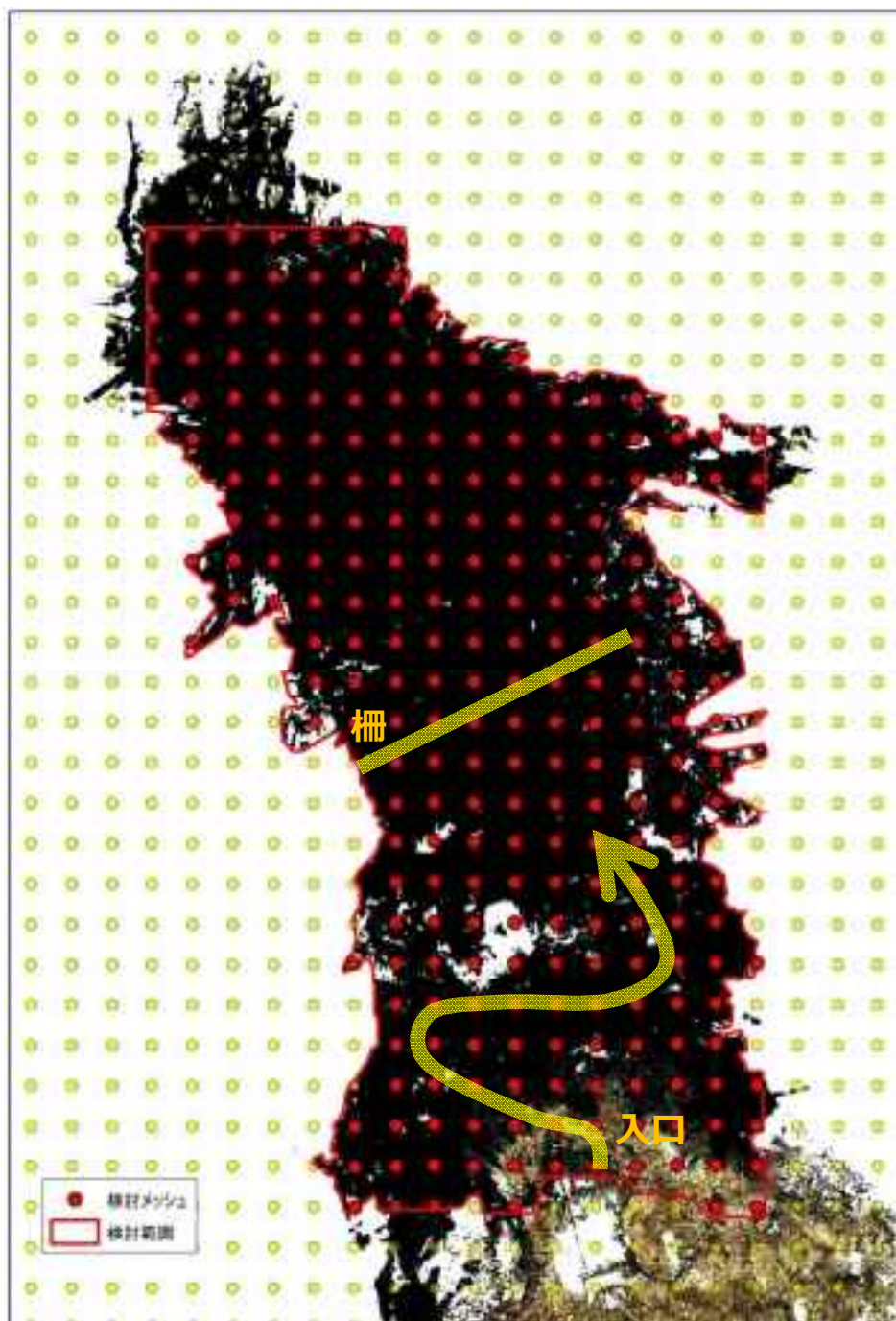


図 5-3 マヤーガマ検討範囲

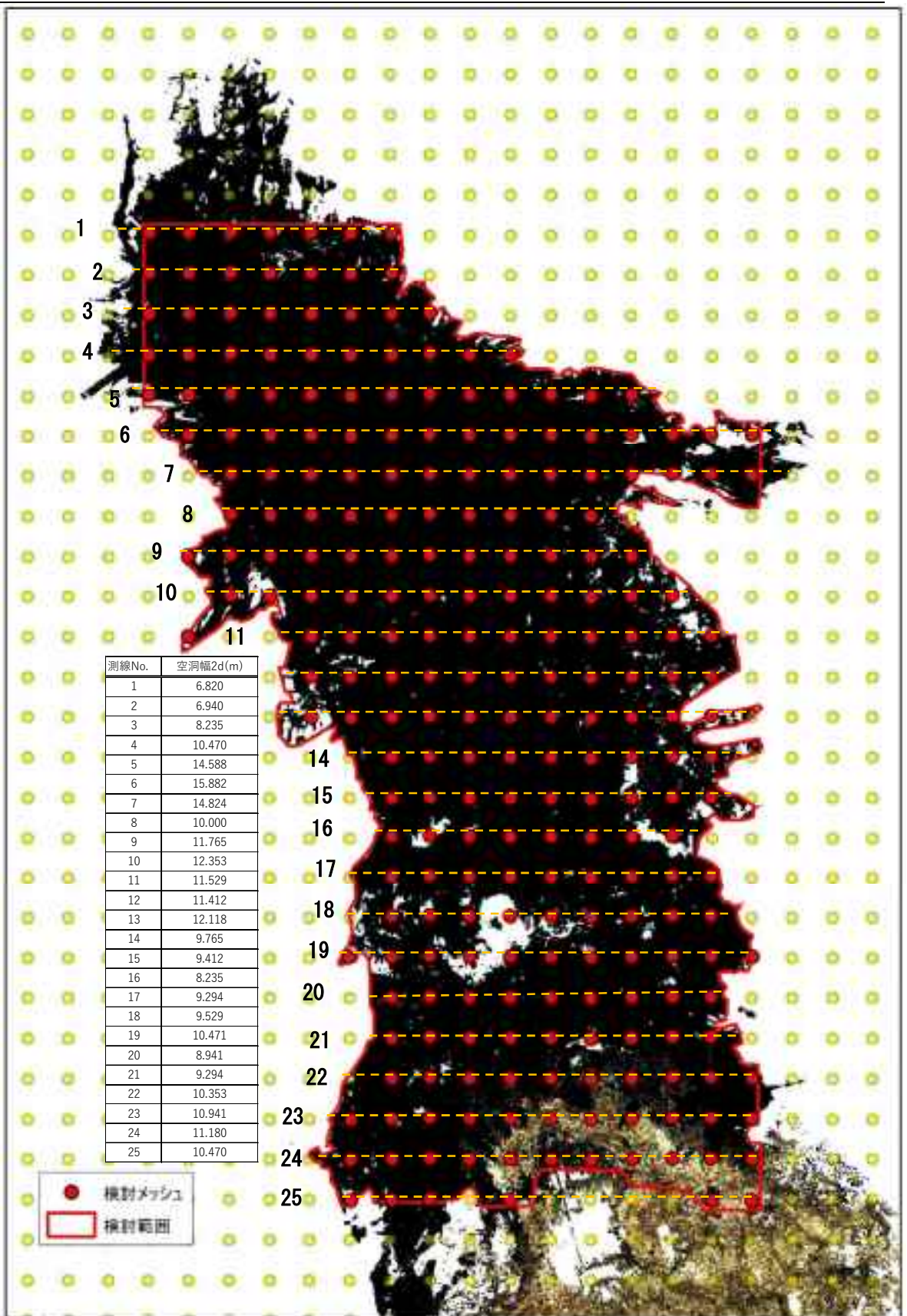


図 5-4 空洞幅の取得結果

(3) マヤーガマの土被り厚 (Z)

検討範囲内の土被り厚を把握するため、3次元レーザースキャン測量結果よりメッシュごとの土被り厚を取得した。

土被り厚の取得結果を図 5-6～図 5-8 に示す。今回の検討範囲における最大土被り厚は 17.02m であり、最小土被り厚は 0.30m となった。また、鍾乳洞中ほどには目玉状に土被り厚が薄くなるエリアが存在することが分かった。

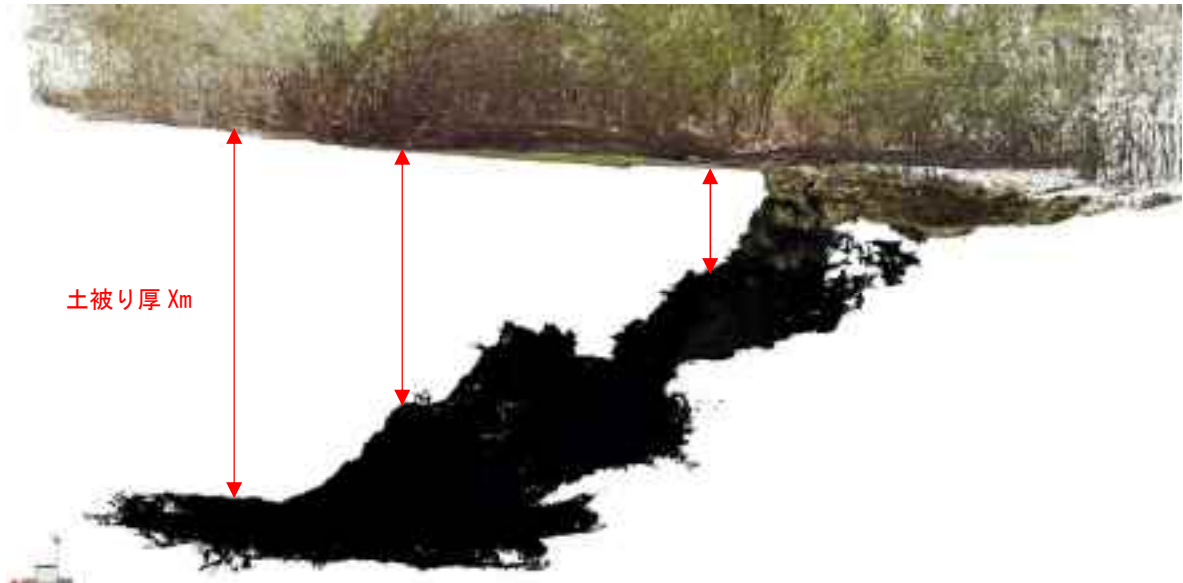


図 5-5 土被り厚の取得模式図

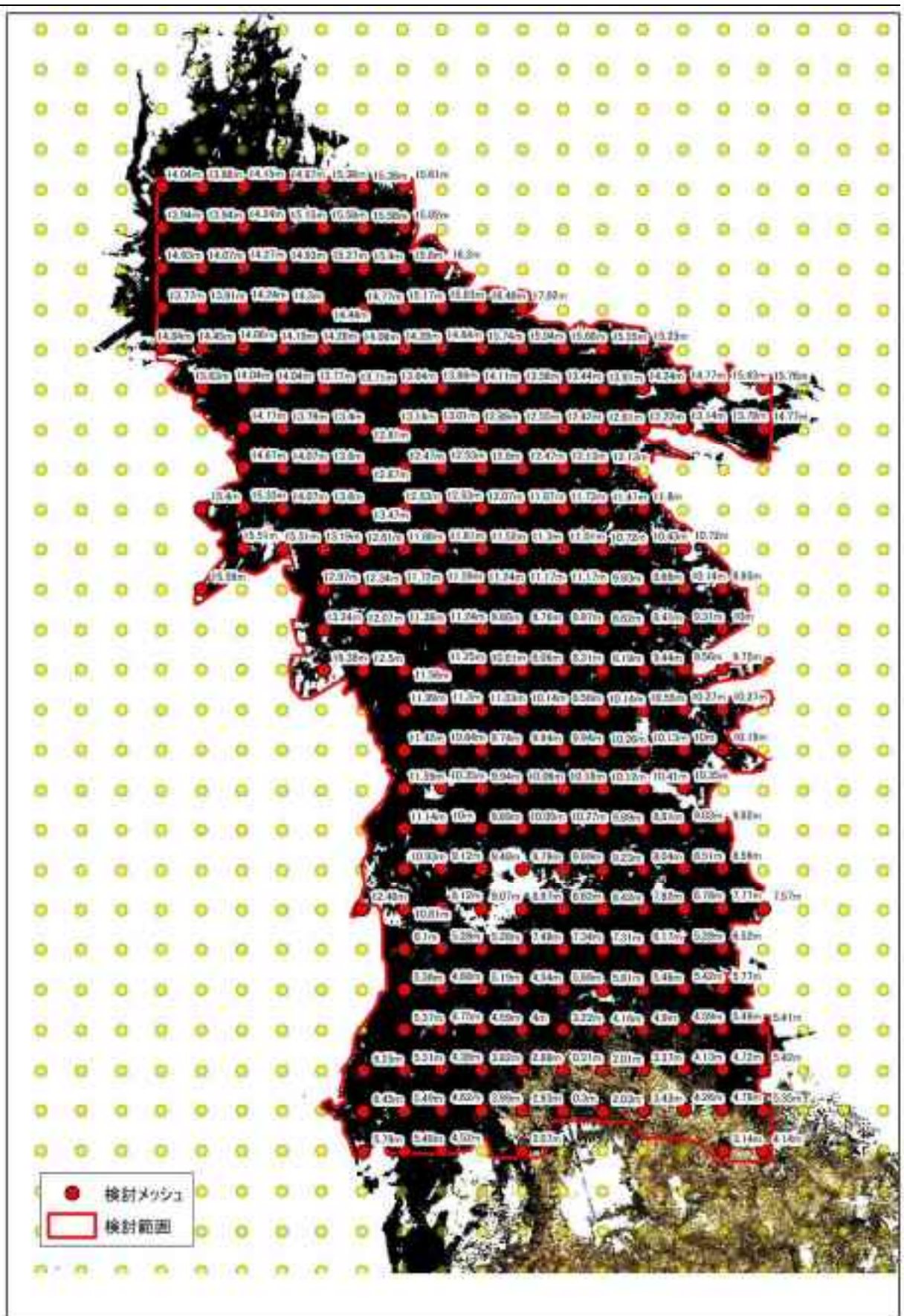


図 5-6 土被り厚の取得結果（メッシュ毎の値）

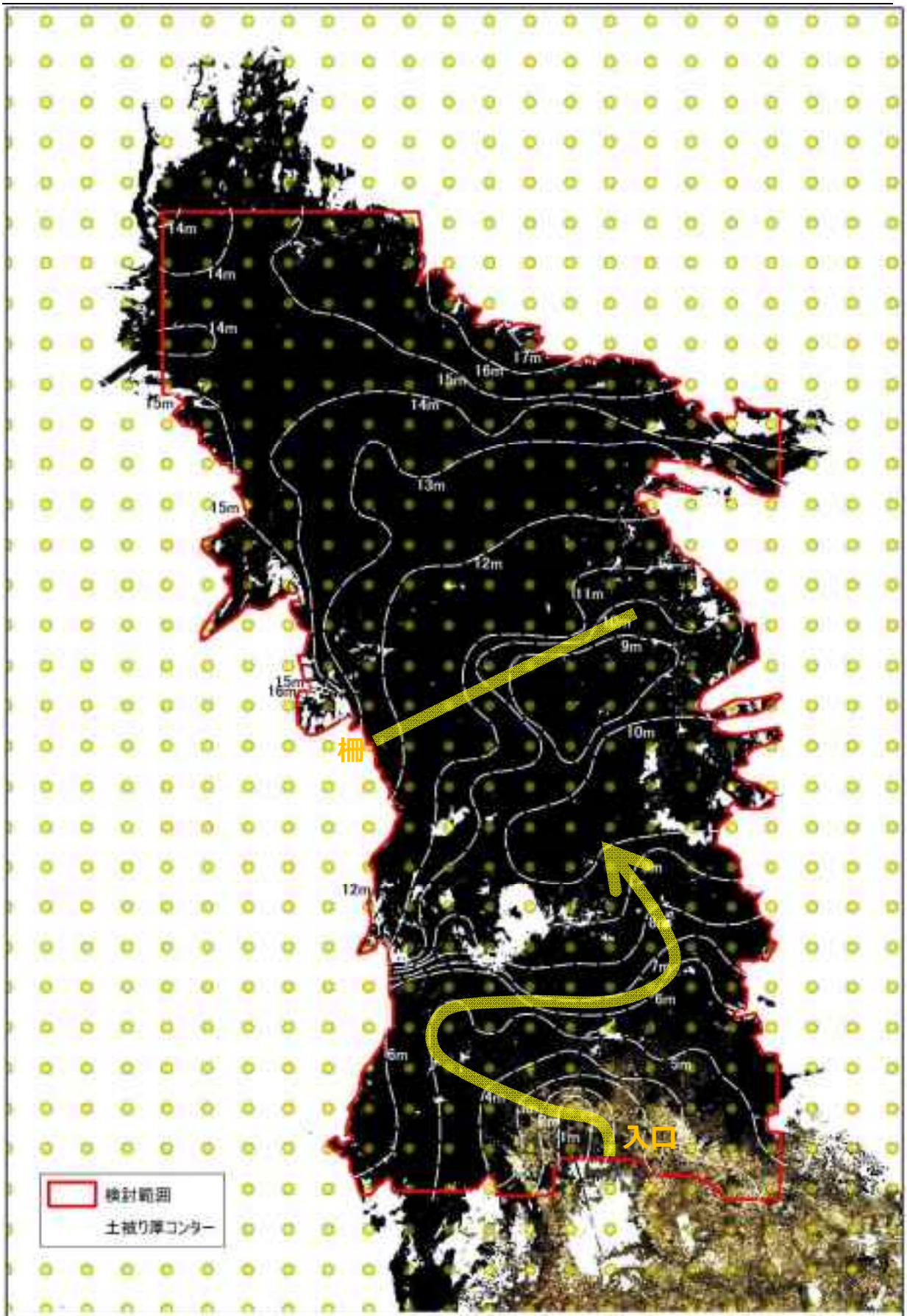


図 5-7 土被り厚の取得結果（土被りの等厚線）

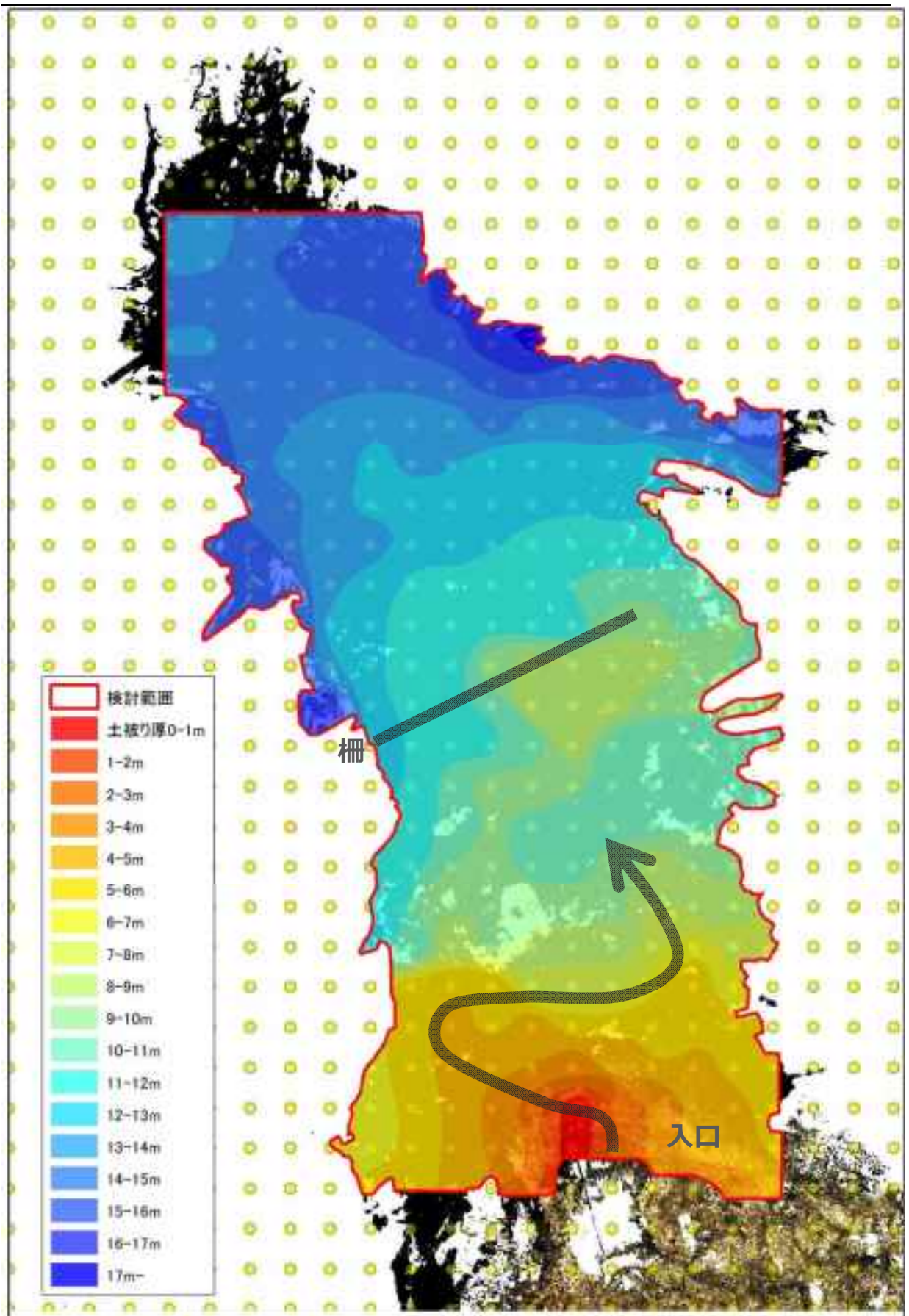


図 5-8 土被り厚の取得結果（土被り厚のカラー表示）

5.2. 検討結果

前項にて設定した各種設定値を用いて浅所陥没に関する検討を実施した。「浅所陥没の発生限界と土被り (Z)、空洞幅 (2b)、C、 ϕ の関係」(西田ほか,1972) のグラフにマヤーガマの設定値 (空洞幅) をプロットした際に求められる崩落限界深度範囲を図 5-9 に示す。

- これを見ると、検討範囲内における崩落限界深度はおよそ 10.5m~25.0m の範囲にプロットされることが読み取れる。

さらに、前項にて取得した各メッシュでの土被り厚と崩落限界深度を比較した表を

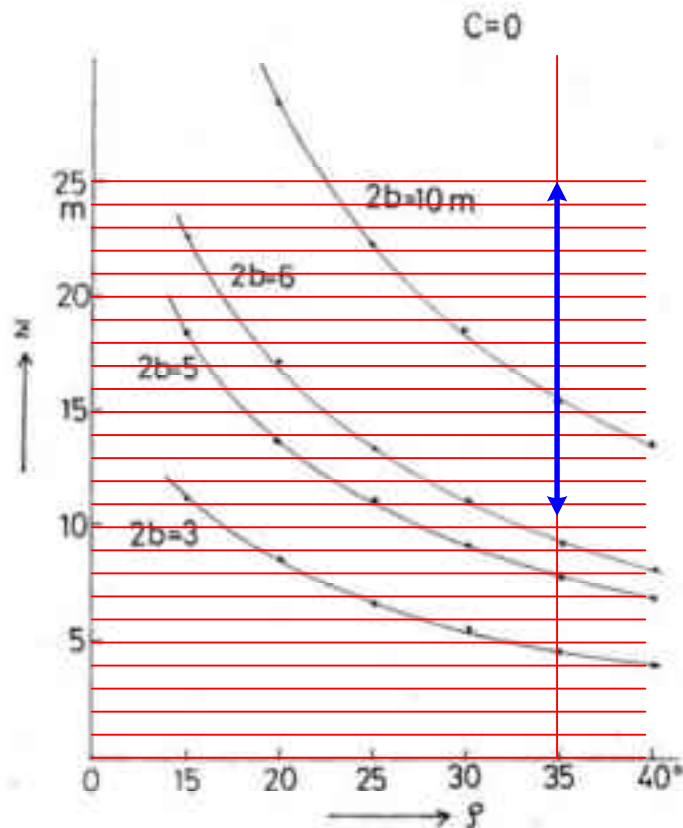
表 5-2 に示す。

表 5-2 のうち黄色にハッチングされている地点は土被り厚が崩落限界深度を下回るメッシュである。

- 検討したメッシュのほとんどが浅所陥没の危険性があると判断されている。

図 5-10 に浅所陥没の危険性判定結果を示す。

- 検討の結果から、現在のマヤーガマでは鍾乳洞の最奥に広がる狭窄部以外は浅所陥没の危険性があると判断された。



第11図 粘着力がない場合の内部ま
さつ角と崩落限界深さとの関係

図 5-9 今回の検討範囲で求められた崩落限界深度範囲

表 5-2 土被り厚と崩落限界深度を比較した表

Mesh No.														崩落限界深度z		
E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R		S	T
14.04	13.86	14.15	14.97	15.38	15.38	15.61										10.5
13.94	13.94	14.24	15.15	15.58	15.58	15.82										10.5
14.93	14.07	14.27	14.93	15.27	15.4	15.8	16.2									12.5
13.77	13.91	14.24	14.3	14.44	14.77	15.17	15.83	16.49	17.02							16
14.84	14.45	14.06	14.19	14.26	14.06	14.26	14.84	15.74	15.94	15.68	15.55	15.23				22
	15.63	14.04	14.04	13.77	13.71	13.64	13.84	14.11	13.58	13.44	13.91	14.24	14.77	15.43	15.76	25
		14.77	13.79	13.4	12.81	13.14	13.01	12.88	12.55	12.42	12.61	12.22	13.14	13.79	14.77	23
		14.67	14.07	13.6	12.87	12.47	12.53	12.8	12.47	12.13	12.13					15.5
	15.4	15.33	14.07	13.6	13.47	12.53	12.53	12.07	11.87	11.73	11.47	11.8				17
		15.51	15.51	13.19	12.61	11.88	11.81	11.52	11.3	11.01	10.72	10.43	10.72			18.5
	15.59			12.97	12.34	11.72	11.59	11.24	11.17	11.17	9.93	9.66	10.14	9.93		17.8
				13.24	12.07	11.38	11.24	9.86	8.76	8.97	8.62	8.41	9.31	10		17.8
				16.38	12.5	11.56	11.25	10.81	8.06	8.31	8.19	9.44	9.56	9.75		18.5
						11.99	11.3	11.03	10.14	8.56	10.14	10.55	10.27	10.27		15
						11.42	10.84	9.74	9.94	9.94	10.26	10.13	10	10.19		14.5
						11.59	10.35	9.94	10.06	10.18	10.12	10.41	10.35			12.5
						11.14	10	9.89	10.05	10.27	9.89	8.81	9.03	9.62		14.5
						10.93	9.12	9.48	9.79	9.69	9.23	8.04	8.51	8.56		14.5
					12.46	10.81	8.12	9.07	8.97	8.62	8.42	7.82	6.78	7.77	7.57	16
						6.1	5.28	5.28	7.48	7.34	7.31	6.17	5.28	6.52		14
						5.38	4.88	5.19	4.54	5.88	5.81	5.46	5.42	5.77		14.5
						5.37	4.75	4.59	4	3.22	4.16	4.9	4.59	5.49	5.41	16
					6.25	5.31	4.38	3.82	2.88	0.31	2.01	3.37	4.13	4.72	5.42	17
					6.45	5.49	4.62	3.99	2.93	0.3	2.03	3.43	4.26	4.79	5.35	17.2
					5.79	5.48	4.52		2.07					3.14	4.14	16

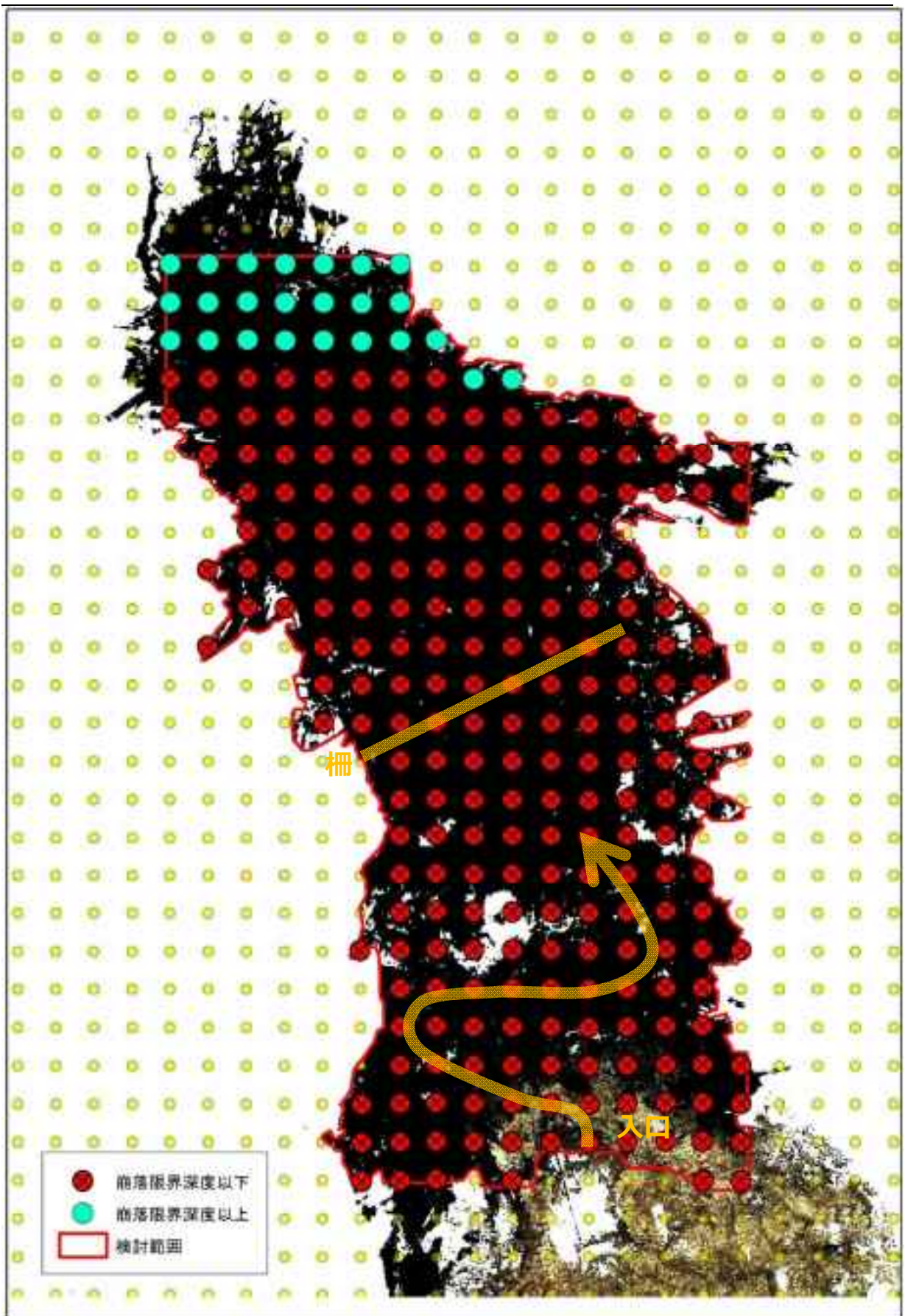


図 5-10 浅所陥没の危険性判定結果

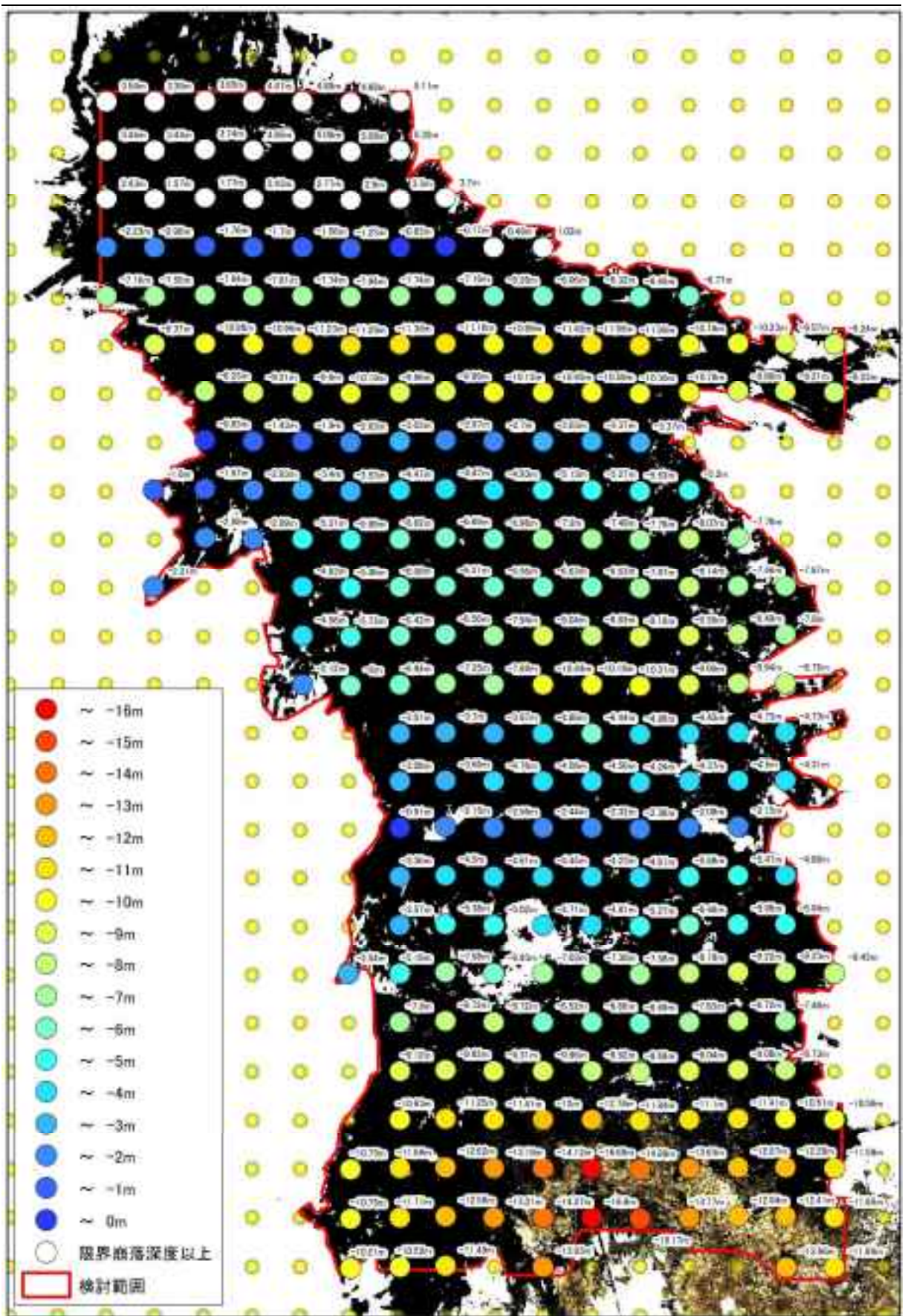


図 5-11 土被り厚 (m) と限界崩落深度 (m) の差分

6. 今後の方針について

- ① 危険箇所抽出によって抽出された AA ランクの箇所に関しては、岩塊が非常に不安定になっており、早い段階で対策を実施することが望ましい。
- ② 一方で、ガマ全体の安全性としては、ガマの大部分で浅所陥没の危険性があると判断された。

以上を踏まえ今後の方針を検討した。以下に整理フローとロードマップ案を示す。

